

**Scientia Agropecuaria**Sitio en internet: www.sci-agropecu.unitru.edu.pe**Facultad de Ciencias
Agropecuarias**Universidad Nacional de
Trujillo**Sinéresis, características reológicas y consistencia sensorial de salsa de alcachofa (*Cynara scolymus* L.)**Syneresis, rheological characteristic and sensory consistency of the artichoke sauce (*Cynara scolymus* L.)Francisco Mora Barandiarán¹, Gabriela Barraza Jáuregui^{2,*}, Jesús Obregón Domínguez³¹ Universidad Privada Antenor Orrego, Av. América Sur 3145, Trujillo, Perú.² Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n. Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.³ Consultor Gestión de Calidad de Engineering Consulting & Services.

Recibido 2 julio 2013; Aceptado 10 septiembre 2013.

Resumen

Se investigó el efecto de la concentración de tres hidrocoloides: CMC, goma guar y goma xantana, y sus mezclas en la sinéresis, características reológicas y consistencia sensorial de salsa de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) variedad Imperial Star. La sinéresis se determinó mediante la pérdida de agua por centrifugación; las características reológicas de la salsa de alcachofa utilizando un reómetro marca Brookfield modelo RVDV – III y finalmente, la consistencia sensorial, mediante una escala hedónica de nueve puntos. Se aplicó un diseño de mezclas simplex reticular con centroide ampliado bajo la metodología de superficie de respuesta para establecer el efecto de la concentración de hidrocoloides sobre la sinéresis, características reológicas y consistencia sensorial. En todos los tratamientos, la viscosidad aparente disminuyó con la velocidad de cizalla demostrando un comportamiento “no newtoniano” de tipo “plástico general” con un valor “n” menor a 1 y un esfuerzo de corte inicial. El índice reológico estuvo en el rango de 0,0856 y 0,3131 ($n < 1$), el índice de consistencia “k” en el rango de 84,55 y 167,80 Pa.sⁿ, esfuerzo de corte inicial en el rango de 9,10 y 13,51 Pa y la consistencia sensorial presentó calificaciones de “me gusta” a “me gusta ligeramente”. Finalmente, se optimizó la mezcla de hidrocoloides sobre la zona de formulación factible. Con la mezcla óptima, correspondiente a: 0,28% CMC; 0,13% goma guar y 0,59% goma xantana se espera obtener una sinéresis de 0,089% y una calificación de 6 “me gusta ligeramente” en cuanto a la consistencia sensorial.

Palabras clave: salsa de alcachofa, diseño de mezclas, sinéresis, consistencia sensorial, optimización**Abstract**

The effect of the concentration of three hydrocolloids: CMC, guar gum and xanthan gum on the syneresis, rheological features and sensory consistency of the artichoke sauce (*Cynara scolymus* L.) Imperial Star variety was studied. The syneresis was determined by the water loss by centrifugation, the rheological features of the artichoke sauce was determined using a Brookfield RVDV – III model rheometer and finally, the sensory consistency was determined by measuring the degree of satisfaction with hedonic scale of nine points. A simplex lattice design blends with centroid expanded under the response surface methodology was applied to establish the effect of the concentration of hydrocolloid on syneresis, rheological features and sensory consistency. In all treatments, the apparent viscosity decreased with shear rate demonstrating a “non Newtonian” behavior of “general plastic” type with an “n” value less than 1 and an initial shear stress. The flow behavior index “n” was in the range of 0.0856 and 0.3131 ($n < 1$) and the consistency index “k” in the range of 84.55 y 167.80 Pa.sⁿ, the initial shear stress was in the range of 9,10 y 13,51 Pa and consistency sensory presented score of “like” to “like slightly”. Finally, the hydrocolloid mixture was optimized over the area of feasible formulation. With the optimal mixture, corresponding to 0.28% CMC, 0.13% guar gum and 0.59% xanthan gum is expected to obtain a 0.089% of syneresis and a rating of 6 in terms of sensory consistency.

Keywords: artichoke sauce, mix designs, syneresis, sensory consistency, optimization.

* Autor para correspondencia

E-mail: gbarraza@unitru.edu.pe (G. Barraza)

1. Introducción

El uso industrial de la alcachofa permite la obtención de productos y subproductos derivados directamente de cualquiera de sus partes empleadas, es así, que de los receptáculos se obtiene fondos de alcachofa en salmuera, marinados en aceite, pasta o pulpa congelada y harina; de las brácteas tiernas (base) se obtiene pasta o pulpa congelada y harina; de las brácteas externas se obtiene alimento para ganado; en el caso del corazón (brácteas internas y receptáculo carnoso) es procesado para la elaboración de conservas en salmuera o marinadas, salsas y cremas (MINAG, 2001).

Por otro lado, los cambios en el estilo de vida moderno y las nuevas tecnologías de procesamiento han llevado a un rápido aumento en el consumo de comidas preparadas, alimentos novedosos y desarrollo de alimentos bajos en grasa. Por tanto, se han desarrollado numerosos hidrocoloides específicamente como sustitutos de grasa o mejoradores de características texturales; esto en consecuencia, ha dado lugar a un aumento en su demanda (Williams y Phillips, 2000).

El conocimiento de las propiedades reológicas de alimentos fluidos o semisólidos, como las salsas, es de especial interés en la industria alimenticia (Siche *et al.*, 2012), y desviaciones específicas en estas propiedades pueden ser influenciadas por la adición de diferentes hidrocoloides (Sahin y Ozdemir, 2004).

Estos hidrocoloides se emplean para modificar la textura y brindar características específicas en diversas formulaciones alimenticias; dando lugar a altas viscosidades a bajas concentraciones ($\leq 1\%$) y son de estudio complejo, lo que hace que su descripción a través de correlaciones matemáticas sea de gran interés (Silva, 2010).

Teniendo en cuenta estos aspectos, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la concentración de CMC, goma guar y goma xantana en la sinéresis, características reológicas y consistencia

sensorial de salsa de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) variedad Imperial Star.

2. Material y Métodos

En la elaboración de las salsas de alcachofa se utilizó como materia prima alcachofa sin espinas (*Cynara scolymus* L.) variedad Imperial Star y entre los insumos, se utilizó tres hidrocoloides: carboximetilcelulosa (CMC), goma guar y goma xantana.

Elaboración de salsa de alcachofa

Alcachofas en estado fresco, en buen estado y compactas (sin presencia de estrangulamiento ni hojas abiertas) fue clasificada de acuerdo a su diámetro (60 - 65 milímetros de espesor); escaldadas por inmersión en agua acidulada con 4 ppm de ácido cítrico, a temperatura y tiempo de 97 °C y 7 minutos, respectivamente (Tarrillo, 2009); enfriadas a 50 °C con la finalidad de evitar la sobrecocción; desbractadas, eliminando de forma manual todas aquellas hojas externas, de colores muy verdes y demasiado fibrosos; perfiladas manualmente con la ayuda de un cuchillo recortando la parte fibrosa y muy amarga de los tallos; despuntadas manualmente recortando la punta de las hojas a 3 - 4 cm. de la parte inferior de la hoja hacia la parte superior; cuarteadas, trituradas, tamizadas, por un tamiz (malla de 1 mm) a fin de separar de ella las pilosidades adherentes a los fondos de la alcachofa; mezclada con los demás ingredientes (pasta de aceituna verde, aceite, agua, zumo de limón y vinagre hasta llegar a pH entre 4,0 - 4,25; luego esta mezcla se calentó moviéndola pausadamente. Hasta este punto se tuvo la mezcla base, luego, se dividió para los diez tratamientos experimentales. Cada tratamiento se sometió a los mismos parámetros temperatura - tiempo de cocción. Cuando cada mezcla alcanzó una temperatura aproximada a 70 °C se le adicionó el azúcar y la sal mezclada con el hidrocoloide o mezcla de hidrocoloides (CMC y/o goma guar y/o goma xantana) correspondiente a cada tratamiento y se

siguió calentando bajo agitación hasta obtener una disolución completa, sin formación de grumos. Inmediatamente después, se le agregó las especias (ajo deshidratado, ajinomoto, comino, palillo, orégano y pimienta blanca en polvo) mezcladas previamente entre sí a fin de obtener una buena dispersión en cada mezcla. La mezcla se pasteurizó calentando a 85 °C por 15 minutos, se envasó de forma manual, vertiendo la salsa de alcachofa caliente (no menor a 85 °C) a los envases de vidrio (capacidad de 500 g. cada uno), con el objeto de obtener un vacío adecuado en el envase (6 – 10 mmHg). El cierre se efectuó inmediatamente después del envasado, de forma manual y con mucho cuidado, a fin de asegurar que el contenido del envase no tenga contacto con el ambiente externo y se produzca una contaminación que deteriore el producto. Cerrado el envase, éste se invirtió inmediatamente a fin de esterilizar la tapa. Los envases se colocaron en una tina con agua a temperatura de 10 a 15 °C, a fin de que enfrién rápidamente para impedir su alteración por termófilos y así inactivar los microorganismos por shock térmico. Luego los envases fueron secados. El producto se almacenó en un ambiente limpio y fresco a temperatura ambiente de 20 ± 2 °C. El análisis de la sinéresis, características reológicas y consistencia sensorial se realizó luego de 24 horas de almacenamiento.

Análisis fisicoquímico de la alcachofa

Las alcachofas se sometieron a los siguientes análisis fisicoquímicos antes de procesarlas para la obtención de salsa: Humedad (Método A.O.A.C., 1995); sólidos solubles (Método A.O.A.C., 1995); acidez (Método de la A.O.A.C., 1995) y pH (Método de la A.O.A.C., 1995).

Análisis de sinéresis en las salsas de alcachofa

La sinéresis se calculó mediante el volumen de líquido que exudó de la salsa

de alcachofa (sobrenadante), esto se evaluó directamente por centrifugación. Se pesó 10 g de salsa de alcachofa de cada tratamiento en tubos de centrífuga a temperatura ambiente y se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos; según lo indicado por Downey (2003). El porcentaje de sinéresis se calculó mediante la ecuación:

$$S = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

Donde M_1 : Peso de la muestra; M_2 : Pérdida de peso después de la centrifugación; S: Porcentaje de Sinéresis.

Análisis reológico de las salsas de alcachofas

Para el análisis reológico de las salsas de alcachofa se utilizó un reómetro modelo Brookfield RVDV – III. Cada formulación fue evaluada a una temperatura de 25 °C y un husillo o “spindle” # 27. La lectura de la viscosidad aparente, esfuerzo de corte, velocidad de corte y torque de cada formulación se realizó en forma directa y a diferentes velocidades de rotación (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 rpm), con la finalidad de obtener suficientes datos para realizar los reogramas para cada muestra y así poder determinar el índice reológico (n) e índice de consistencia (k). Adicionalmente, se determinó el índice de fluencia inicial (τ_0).

Análisis de la consistencia sensorial de las salsas de alcachofa

Para evaluar la consistencia sensorial de las muestras se utilizó una prueba de medición del grado de aceptación en función a la consistencia con escala hedónica estructurada de nueve puntos (me gusta – me disgusta), como lo menciona Anzaldúa – Morales (1994) y Ureña *et al.* (2000), empleando como panelistas no entrenados a consumidores de 18 a 45 años, conformado por 40 personas, de ambos sexos.

A todos los panelistas se les entregó las muestras una por una y de forma aleatoria, además, se les entregó el formato de

evaluación de la consistencia sensorial de las salsas de alcachofa, remarcando el término consistencia y brindándoles una paleta para la evaluación.

Diseño y análisis estadístico

El diseño estadístico utilizado fue un “diseño de mezclas” denominado “Diseño simplex reticular (3,2) con centroide ampliado” dentro de la metodología “Superficie de respuesta”.

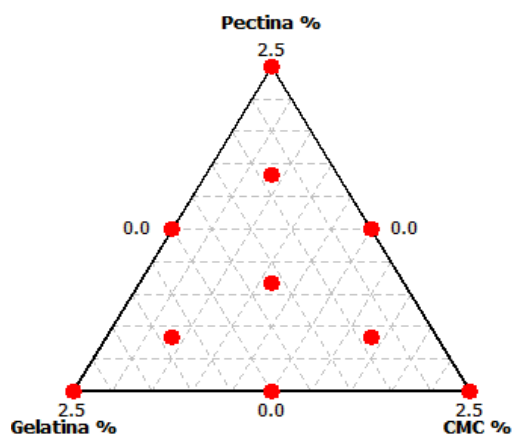


Figura 1. Diseño Simplex reticular con centroide ampliado.

El diseño estuvo representado por un triángulo (Figura 1) que a su vez representó al universo de posibilidades de concentraciones puras y mezclas en

proporción de los hidrocoloides adicionales a las salsas de alcachofa.

El análisis estadístico para evaluar la sinéresis, características reológicas y consistencia sensorial se realizó utilizando el software Statistica versión 9.0 y correspondió a un análisis de varianza, el cual se derivó de la participación de la variabilidad total en los componentes para cada modelo entre las posibilidades que brinda el software (modelo lineal, cuadrático, cúbico y cúbico especial), seleccionándose el modelo que resultó ser significativo ($p < 0,05$) y que tuvo un coeficiente de determinación R^2 alto (mayor a 85%), de acuerdo a lo recomendado por Montgomery (2002).

Una vez seleccionado el modelo matemático para cada variable respuesta, se determinaron los coeficientes de regresión representados en él y con los cuales se obtuvo la ecuación ajustada para dicha variable respuesta.

Finalmente se determinó la mezcla óptima de hidrocoloides utilizando la metodología de superposición de gráficas de contorno recomendada por Montgomery (2002).

3. Resultados y discusión

Luego de haber realizado los análisis a los 10 tratamientos se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 1.

Tabla 1

Resultados experimentales para la sinéresis, índice reológico, esfuerzo de corte inicial e índice de consistencia de las salsas de alcachofa

Tratamiento	CMC (%)	GG (%)	GX (%)	Sinéresis (%)	Índice reológico (n)	Índice de consistencia "k" (Pa.s ⁿ)	Esfuerzo de corte inicial "T ₀ " (Pa)	Consistencia sensorial
T ₁	1	0	0	1,008	0,31	84,55	9,10	6,75
T ₂	0	1	0	0,273	0,14	126,30	11,40	6,70
T ₃	0	0	1	0,080	0,16	79,09	9,43	6,40
T ₄	0,5	0,5	0	0,198	0,11	167,80	13,51	6,85
T ₅	0,5	0	0,5	0,134	0,14	129,66	11,75	6,30
T ₆	0	0,5	0,5	0,108	0,09	156,24	13,05	6,25
T ₇	0,33	0,33	0,33	0,133	0,20	151,32	11,59	5,55
T ₈	0,67	0,17	0,17	0,498	0,22	147,64	11,23	6,30
T ₉	0,17	0,67	0,17	0,150	0,21	133,20	11,69	5,80
T ₁₀	0,17	0,17	0,67	0,098	0,25	135,96	10,60	5,95

Tal como se aprecia, individualmente, la goma xantana en niveles de 1% probó ser más efectiva (0,08% de pérdida de agua por centrifugación) previniendo la sinéresis y aumentando la estabilidad de la salsa de alcachofa; seguida por la goma guar (0,27%); y finalmente, la CMC (1,008%); correspondientes a los tratamientos T_3 , T_2 y T_1 , respectivamente.

Por otro lado, se observa que los mayores valores de sinéresis se presentan cuando se utiliza CMC en concentración individual de 1% (T_1) y en la mezcla ternaria correspondiente a 0,67% de CMC; 0,17% de goma guar y 0,17% de goma xantana (T_8). Sin embargo, cuando ésta se combina con goma xantana los valores de sinéresis disminuyen considerablemente (T_6).

En la Tabla 1, se observa que los valores de “n” estuvieron en un rango entre 0,0856 y 0,3131 para todos los tratamientos evaluados, confirmando en todos ellos un comportamiento no newtoniano de tipo plástico general al notarse un valor “n” menor a 1 (Levenspiel, 1993) y un esfuerzo de corte que no parte del origen (τ_0). Debido a que ningún modelo matemático se ajustó (Tabla 2) al comportamiento del índice reológico, no se desarrollaron gráficas de superficie.

En la Tabla 1, se observa que los valores del índice de consistencia “k” estuvieron

en el rango de 79,09 y 167,80 Pa.sⁿ. En la Figura 2, representada por la gráfica de contornos, las bandas de color representan rangos concretos de valores y se nota claramente que los valores de sinéresis más bajos se presentan cuando la concentración de goma xantana se acerca a 1%, como el tratamiento T_3 , indicando en este caso mayor poder de interacción individual de este hidrocoloide con el agua. Se aprecia además, valores bajos de sinéresis en las áreas correspondientes a los tratamientos T_6 y T_{10} . En la Figura 3, se observa que el valor más bajo de índice de consistencia (79,09 Pa.sⁿ) se obtuvo con la concentración de 1% de goma xantana, correspondiente al T_3 ; sin embargo, al combinar este hidrocoloide con la goma guar en proporciones de 0,5% de goma guar y 0,5% de goma xantana, correspondiente al T_4 se obtuvo el mayor valor (167,80 Pa.sⁿ), evidenciando un efecto sinérgico de éstos componentes produciendo un incremento en el índice de consistencia y por ende en la consistencia de la salsa de alcachofa, tal como lo menciona Montgomery (2002), que cuando hay una curvatura, tal como se aprecia en la Figura 4, derivada de una mezcla de componentes, los coeficientes de estos representan una mezcla sinérgica o antagónica.

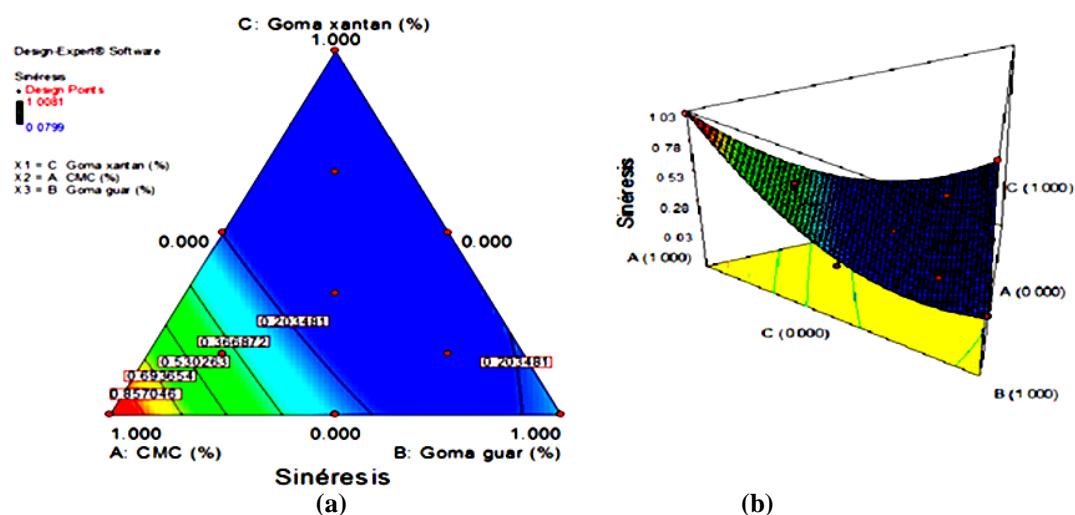


Figura 2. Representación gráfica de superficie de respuesta (b) y de contornos (a) para la sinéresis de las salsas de alcachofa.

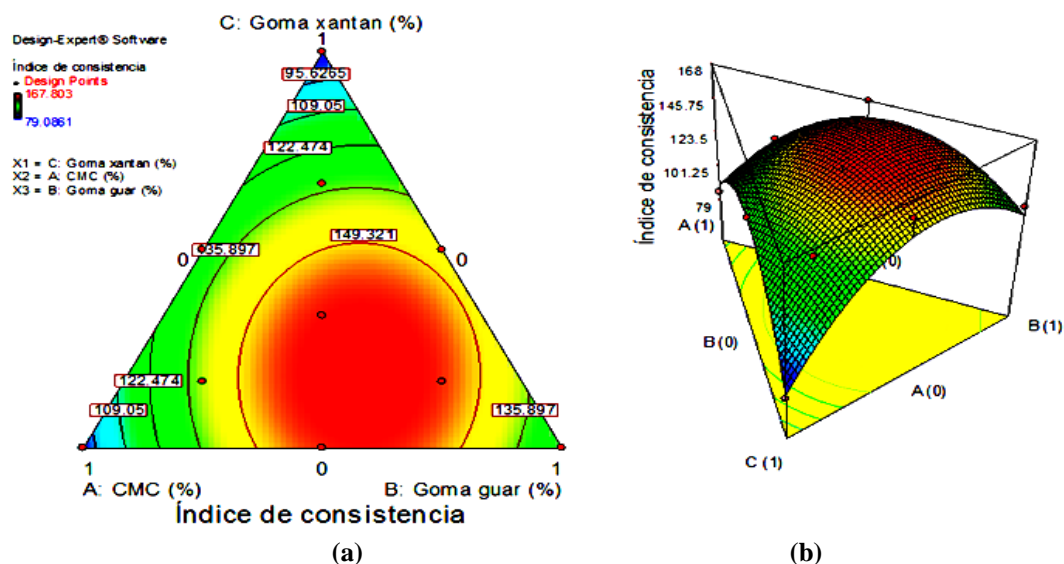


Figura 3. Representación gráfica de superficie de respuesta (b) y de contornos (a) para el índice de consistencia “k” de las salsas de alcachofa.

Además, todas las combinaciones binarias tuvieron un efecto mayor en el índice de consistencia al tener valores más altos a los obtenidos empleando concentraciones puras, indicando un efecto sinérgico en todos los casos; principalmente en el tratamiento T_4 , correspondiente a la combinación CMC y goma guar; seguido por el tratamiento T_6 , correspondiente a goma guar y goma xantana; y finalmente, el tratamiento T_5 , correspondiente a la combinación CMC

y goma xantana. Esto se debe, tal como lo mencionó Whistler y BeMiller (1993), que una mezcla de dos o más macromoléculas (gelificantes o no) puede, en ciertos casos, presentar fenómenos de sinergia que conduzcan a diferentes comportamientos reológicos, como al aumento en la consistencia y a veces hasta a gelificaciones, en el caso de que uno de los componentes sea capaz de gelificar.

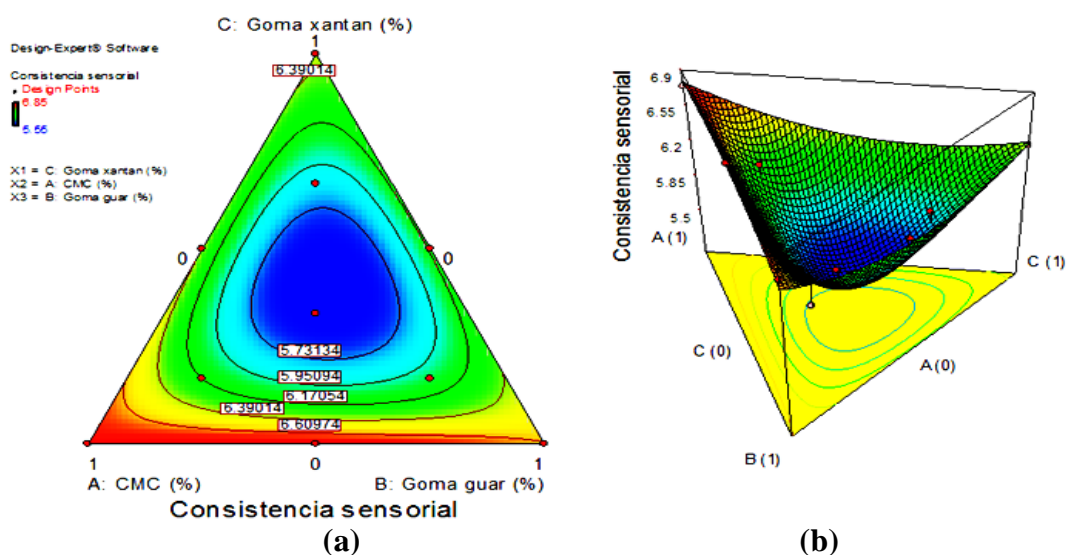


Figura 4. Representación gráfica de superficie de respuesta (b) y de contornos (a) para la consistencia sensorial de las salsas de alcachofa.

En forma separada, cada hidrocoloide tiene propiedades individuales, pero al combinarse en la razón correcta sus efectos de consistencia, viscosidad o fuerza de gel se pueden incrementar drásticamente, lo cual sin duda es una ventaja desde el punto de vista comercial como una manera de abaratar costos y proporcionar nuevas soluciones texturales (Gelymar, 2006). Estos sinergismos, además de permitir la reducción de las dosis totales de hidrocoloides, permiten elaborar formulaciones específicas dirigidas a diferentes condiciones de uso (Atzi y Ainia, 1999).

En Tabla 1, se observa que las calificaciones asignadas por los panelistas para las muestras de salsa de alcachofa estuvieron en el rango de 6 – 7, es decir, “me gusta ligeramente” – “me gusta”.

En la Figura 4, se observa que los tratamientos T₁ y T₄ presentaron mayor calificación en cuanto a la consistencia sensorial, mientras que la mezcla ternaria correspondiente al tratamiento T₇ presentó la menor calificación. En la Tabla 2 se muestra el análisis de varianza para determinar el modelo adecuado para sinéresis, índice reológico, índice de consistencia y consistencia sensorial.

Como se puede observar en la Tabla 2, el modelo cuadrático fue significativo para sinéresis e índice de consistencia, el modelo cubico fue significativo para la consistencia sensorial ($p < 0,05$), además el R² y el R²-ajustado sobrepasaron el 85% y 75% respectivamente. Para el comportamiento del índice reológico ningún modelo matemático se ajustó.

En la Tablas 3, 4, 5 y 6 se presentan los coeficientes de regresión de los modelos ajustados al comportamiento de las variables respuesta, donde CMC: Carboximetilcelulosa; GG: Goma guar; GX: Goma xantana. Se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Índice de consistencia (k)} = 89,3027*CMC + 120,9039*GG + 82,2029*GX + 210,4224*CMC*GG + 169,2924*CMC*GX + 171,8267*GG*GX$$

$$\text{Sinéresis (\%)} = 1,02044*CMC + 0,25953*GG + 0,07565*GX - 1,53871*CMC*GG - 1,39045*CMC*GX - 0,07787*GG*GX$$

$$\text{Esfuerzo de corte inicial } (\tau_0) = 9,1790*CMC + 11,2500*GG + 9,3490*GX + 12,8979*CMC*GG + 9,9360*CMC*GX + 10,0779*GG*GX - 66,1235*CMC*GG*GX$$

$$\text{Consistencia sensorial} = 6,794*CMC + 6,6167*GG + 6,4349*GX + 0,4214*CMC*GG - 0,9422*CMC*GX - 1,2968*GG*GX - 23,6647*CMC*GG*GX$$

Tabla 2

Análisis de varianza para sinéresis, índice reológico, índice de consistencia, esfuerzo de corte inicial y consistencia sensorial

Variable	Modelo	SC	GL	CM	F	p	R ²	R ² ajustado
Sinéresis (%)	Lineal	0,509	2	0,255	7,546	0,018	0,683	0,593
	Cuadrático	0,217	3	0,072	14,686	0,013	0,974	0,941
	Cúbico	0,011	1	0,011	3,556	0,156	0,988	0,964
	Total	0,746	9	0,083				
Índice reológico (n)	Lineal	0,015	2	0,008	1,895	0,220	0,351	0,166
	Cuadrático	0,003	3	0,001	0,178	0,906	0,428	0,000
	Cúbico	0,017	1	0,017	6,554	0,083	0,820	0,461
	Total	0,043	9	0,005				
Índice de consistencia (k)	Lineal	1,509,290	2	754,644	0,869	0,460	0,199	0,000
	Cuadrático	5,124,080	3	1708,03	7,162	0,044	0,874	0,717
	Cúbico	283,931	1	283,931	1,271	0,342	0,912	0,735
	Total	7,587,350	9	843,039				
Esfuerzo de corte inicial (τ_0)	Lineal	4,674	2	2,33690556	1,311	0,3284	0,272	0,065
	Cuadrático	7,403	3	2,46758934	1,944	0,2643	0,704	0,334
	Cúbico	4,248	1	4,24836874	15,394	0,0295	0,952	0,855
	Total	1,299,709						
Consistencia sensorial	Lineal	0,230	2	0,115	0,584	0,583	0,143	0,000
	Cuadrático	0,724	3	0,241	1,474	0,349	0,593	0,084
	Cúbico	0,544	1	0,544	14,660	0,031	0,931	0,793
	Total	1,610	9	0,179				

Tabla 3

Coefficientes de regresión para sinéresis en un modelo cuadrático ($R^2 = 0,974$; $R^2_{Ajustado} = 0,941$)

Factor	Coefficiente Estimado	Error Estándar	P
(A)CMC (%)	1,020	0,068	0,000
(B)Goma guar (%)	0,260	0,068	0,018
(C)Goma xantana (%)	0,076	0,068	0,326
AB	-1,539	0,312	0,008
AC	-1,390	0,312	0,011
BC	-0,078	0,312	0,815

Tabla 4

Coefficientes de regresión para k en un modelo cuadrático ($R^2 = 0,874$; $R^2_{Ajustado} = 0,717$)

Factor	Coefficiente Estimado	Error Estándar	P
(A)CMC (%)	89,303	14,894	0,004
(B)Goma guar (%)	120,904	14,894	0,001
(C)Goma xantana (%)	82,203	14,894	0,005
AB	210,422	68,645	0,037
AC	169,292	68,645	0,069
BC	171,827	68,645	0,067

Tabla 5

Coefficientes de regresión para τ_0 en un modelo cúbico ($R^2 = 0,952$; $R^2_{Ajustado} = 0,855$)

Factor	Coefficiente Estimado	Error Estándar	P
(A)CMC (%)	9,179	0,508	0,000
(B)Goma guar (%)	11,25	0,508	0,000
(C)Goma xantana (%)	9,349	0,508	0,000
AB	12,898	2,556	0,015
AC	9,936	2,556	0,030
BC	10,078	2,556	0,029
ABC	-66,124	16,853	0,029

Tabla 6

Coefficientes de regresión para consistencia sensorial en un modelo cubico ($R^2 = 0,931$; $R^2_{Ajustado} = 0,793$)

Factor	Coefficiente Estimado	Error Estándar	P
(A)CMC (%)	6,794	0,186	0,000
(B)Goma guar (%)	6,617	0,186	0,000
(C)Goma xantana (%)	6,435	0,186	0,000
AB	0,421	0,937	0,684
AC	-0,942	0,937	0,389
BC	-1,297	0,937	0,261
ABC	-23,665	6,181	0,031

Esfuerzo de corte inicial o tensión de fluencia

Tal como se observa en la Tabla 1, los valores del esfuerzo de corte inicial, tensión de fluencia inicial o umbral de fluencia estuvieron en el rango de 9,10 y 13,51 Pa.

En la Figura 5, se observa que los mayores valores de esfuerzo de corte inicial (τ_0) se obtuvieron cuando se adicionó goma guar en concentración pura (T2) y sus mezclas, siendo el tratamiento T4 correspondiente a 0,5% de CMC y 0,5% de goma guar el que obtuvo mayor valor (13,51 Pa.). El efecto causado por los hidrocoloides en el esfuerzo de corte inicial (τ_0) se debe, tal como lo mencionó Badui (2006), a la presencia de grupos hidroxilos con enlaces de hidrógeno propios de las moléculas de agua.

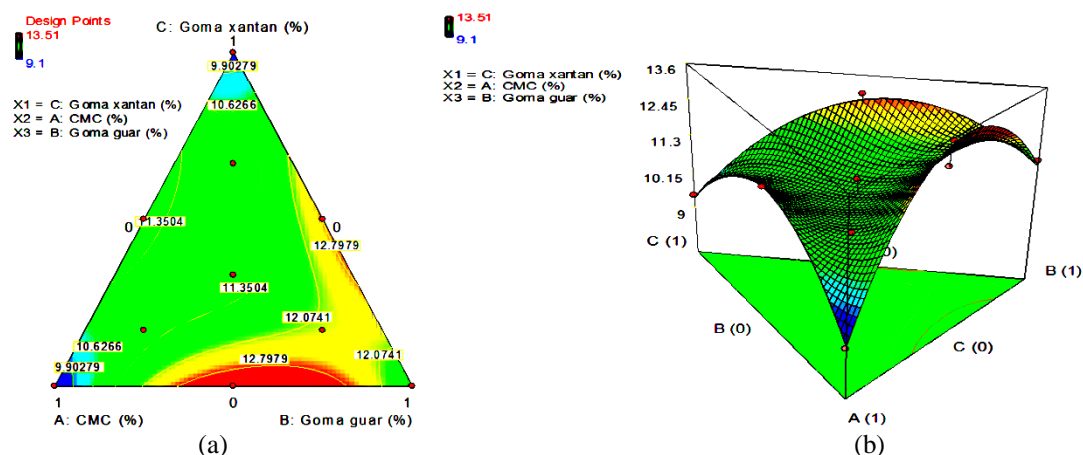


Figura 5. Representación gráfica de superficie de respuesta (b) y de contornos (a) para el esfuerzo de corte inicial de las salsas de alcachofa.

Este efecto se presentó principalmente cuando se adicionó goma guar en su concentración pura y en sus mezclas, debido a que la goma guar es el espesante acuoso más eficiente que se conoce brindando soluciones clasificadas como pseudoplásticas (Moser *et al.*, 2013).

Optimización

Se realizó mediante la superposición de las gráficas de contorno de la sinéresis, índice de consistencia y consistencia sensorial. Cabe resaltar que no se consideró el índice reológico debido a que en cualquier punto de las gráficas se habría obtenido un valor de índice reológico entre 0 – 1, correspondiente al mismo tipo de fluido.

En la Figura 6, se observa la zona de formulación óptima determinada asignando restricciones a las variables respuesta con la finalidad de encontrar la mezcla óptima de hidrocoloides que brinden el menor valor de sinéresis y el mayor valor en la consistencia sensorial.

Las combinaciones óptimas para tener menor valor de sinéresis (0,07%) y mayor calificación en cuanto a la consistencia sensorial (5,8 aproximado a 6 = calificación de “me gusta ligeramente”), se obtuvo con la mezcla óptima de carboximetilcelulosa (0,28%), goma guar (0,13%) y goma xantana (0,59%).

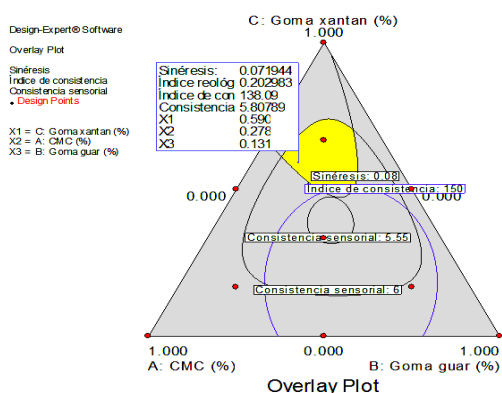


Figura 6. Superposición de superficie de respuesta para la optimización de mezclas de hidrocoloides en salsa de alcachofa.

Para validar la investigación, los valores obtenidos mediante la optimización fueron

comparados con valores reales, para lo cual se elaboró una muestra de salsa de alcachofa con las proporciones óptimas de hidrocoloides. Se realizó nuevamente el análisis de sinéresis y consistencia sensorial, y se obtuvo un valor de sinéresis de 0,089% y calificación de textura sensorial promedio de 6 (calificación de “me gusta ligeramente”).

Validación

Para validar la investigación, se elaboró una muestra de salsa de alcachofa con una mezcla de hidrocoloides correspondiente a la zona óptima: 0,28% CMC; 0,13% goma guar y 0,59% goma xantana, determinándose valores de sinéresis de 0,089% y calificación de consistencia sensorial promedio de 6 (calificación de “me gusta ligeramente”).

4. Conclusiones

En todas las salsas evaluadas, la viscosidad aparente disminuyó con la velocidad de cizalla demostrando un comportamiento “no newtoniano” de tipo “plástico general” con un valor “n” menor a 1 y un esfuerzo de corte inicial.

El índice reológico, el índice de consistencia y el esfuerzo de corte inicial estuvieron comprendidos en el rango de 0,0856 – 0,313, 84,55 - 167,80 Pa.s y 9,10 - 13,51 Pa respectivamente; la consistencia sensorial presentó calificaciones de “me gusta” a “me gusta ligeramente”.

Los valores más elevados de “k” se observaron con las mezclas de hidrocoloides binarias (T_4 , T_5 , T_6) y ternarias (T_7 , T_8 , T_9 , T_{10}), en comparación de los tratamientos (T_1 , T_2 , T_3) correspondientes a las gomas puras.

Los mayores valores de τ_0 se obtuvieron cuando se adicionó goma guar en concentración pura (T_2) y sus mezclas, siendo el tratamiento T_4 correspondiente a 0,5% de CMC y 0,5% de goma guar el que obtuvo mayor valor (13,51 Pa.)

Los menores valores de sinéresis se presentaron en los tratamientos (T_1 , T_2 , T_3) correspondientes a las gomas puras.

Con una mezcla correspondiente a la zona óptima: 0,28% CMC; 0,13% goma guar y 0,59% goma xantana se obtuvo una sinéresis de 0,089% y una calificación de 6 “me gusta ligeramente” en cuanto a la consistencia sensorial.

Referencias bibliográficas

- Anzaldúa – Morales, A. 1994. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y en la Práctica. Editorial Acibia. Zaragoza-España. Pg.67–79.
- Atzi y Ainia. 1999. Vigilancia tecnológica en el sector de aditivos. Agentes de textura. Programa de Infraestructuras y Redes de Innovación. Chile.
- Badui, S. 2006. Química de Alimentos. Cuarta Edición. Editorial Pearson Education. México.
- Downey, G. 2003. Effects of cryoprotectant mixtures on physical properties of frozen and thawed pureed cooked potatoes: some introductory studies. *International Journal of Food Science and Technology* 38: 857- 868.
- Gelymar. 2006. Sinergia de xantana con otras gomas. Efecto de las Propiedades Finales.
- Levenspiel, O. 1993. Flujo de Fluidos e Intercambiador de calor. Editorial Reverte S.A. España.
- MINAG. 2006. Estudio de Mercado de la Alcachofa en Conserva. Ministerio de Agricultura. Oficina Regional de Planificación Agraria. Unidad de Comercio Internacional.
- Montgomery, D. 2002. Diseño y análisis de experimentos. Segunda edición. Editorial Limusa Wiley S.A. Universidad Estatal de Arizona.
- Moser, P.; Lopes, M.; Nicoletti V. Telis. 2013. Influence of the concentration of polyols on the rheological and spectral characteristics of guar gum. *Food Science and Technology* 53: 29-36.
- Sahin, H.; Ozdemir, F. 2004. Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. *Food Hydrocolloids*. Department of Food Engineering – Faculty of Agriculture. Akdeniz University, Antalya - Turquía.
- Siche, R.; Falguera, V.; Ibarz, A. 2012. Influencia de la temperatura y adición de fibra en el comportamiento al flujo del zumo de naranja. *Scientia Agropecuaria*3(4): 303-308.
- Silva, C. 2010. Caracterización reológica de hidrocoloides alimentarios: goma guar, goma tragacanto, metilcelulosa y sus mezclas. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos por la Universidade de Santiago de Compostela. Galicia. España.
- Tarrillo, S. 2009. Efecto del pH, temperatura y tiempo de escaldado en las características fisicoquímicas y sensoriales de la salsa de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) en conserva. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo – Perú.
- Ureña, P.; D'Arrigo, H.; Girón, M. 2000. Evaluación sensorial de los alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Editorial Agraria. Lima - Perú.
- Whistler, R.; BeMiller, J. 1993. *Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivatives*. Academic Press, Inc. California - Estados Unidos.
- Williams, P.; Phillips, G. 2000. *Handbook of Hydrocolloids*. Woodhead Publishing. Cambridge University Press.